PS-12 特殊な構造を有する水密隔壁の強度評価

1. はじめに

高温の液体貨物を積載する当該運搬船は、大きな 円筒タンクを有している。このタンクの熱膨張によ りこれを支持している水密隔壁に熱応力が発生する。

本船は、タンクと頂板や船底外板との距離が接近 している為、高い熱応力が主船体に伝播することが 予想された。これを避けるために、円筒タンクの直 近外側の隔壁に溝型断面を有する Expansion Joint を設置し、この部材の変形により熱変形を吸収し、 外側の主船体には応力が伝播しないような特殊な構 造を有している。その応力レベルを解析し、当該水 密隔壁の強度評価を実施した結果について報告する。 2. 本船主要目とタンク構造

表─1							
長さ	幅	深さ	喫水	載貨重量			
44m	8. 4m	3. 5m	3m	500ton			

表-2 タンク No.1 概要					
直径	容量	温度	積荷		
4. 4m	350m ³	150°C	液体化学薬品		





表-1に本船の主要目、表-2 にタンク概要を示 す。図-1にタンクの一般配置図を示す。本船は主 船体部分に2個の大きな円筒タンクを有している。

図-2に水密隔壁の横断面図を示す。 図の斜線部

輸送高度化研究領域 構造解析研究グループ





図-2 水密隔壁横断面図(タンク No.2)



図-3 Expansion Joint 断面図

分、タンクの円周外側に Expansion Joint を設置し ている。Expansion Joint と Top Plate が接近して おり余裕がない構造となっている。

Expansion Joint は大小2種類ありいずれも溝型 断面をしている。大きい方はタンクの左右と上方向 とに設置され、小さい方は斜め下方船底側に設置さ れている。図-3に大きい方の Expansion Jointの 断面図を示す。幅 100mm、深さ 180mmである。 小さい方は幅 50mm、深さ 80mmである。タンク の熱膨張を Joint 部の変形で吸収する構造になって いる。積荷はテレフタル酸ジメチルエステルで比重 は約 1.07 である。液体を凝固させないために、液温 を 150 度の温度に保っている。

使用材料はタンク及び Expansion Joint 内側の隔壁 はステンレス鋼、Expansion Joint より外側の構造 は軟鋼である。どちらもヤング率は 205,800N/mm² 、ポアソン比は 0.3 を用い、線膨張係数は、軟鋼は 1.11*10⁻⁵/℃mm/mm、ステンレス鋼は 1.73*10⁻⁵/℃ mm/mm を使用した。

3. 解析方法

解析には当所の汎用構造解析コードMARC を使 用した。最初に定常熱伝導解析を行いモデルの温度 分布を求め、この結果を用いて熱応力解析を行った。

タンクは断熱材で覆われているため、空気中の熱 放射は無視し、部材を通じて直接伝わる熱伝導だけ を考慮した。本船は新造船なので荷物荷重、及びタ ンクの左右方向のスロッシング荷重による静的応力 解析も合わせて実施した。

図-4に No.1 タンクの FEM タンク構造モデル を示す。船長方向には隔壁の前後3フレーム位置迄 をモデル化した。できるだけ実構造を忠実にモデル 化し、防撓材等もほぼ忠実に再現している。水密隔 壁の構造は、タンク断面内に swath bulkhead を有 するもの (タンク No.1) と、無いもの (タンク No.2)



図-4 FEM構造モデル (タンク No.1)

の2種類がある。ここでは主としてタンク No.1 に ついて結果を表示する。

使用した要素はMARCの厚肉シェル要素で、スティフナー等も全てシェル要素でモデル化した。

メッシュサイズは、Expansion Joint の部分は細か くし、影響の少ない外板等の部材は、Frame Space の半分の長さとやや粗くした。タンク No.1 モデル で、要素数が約 7,600、節点数は約 6,500 である。

荷物荷重は液体貨物をタンクに満載した状態、ス ロッシング荷重は1gの重力加速度が船幅水平方向 に作用した状態を考えた。熱荷重は実船計測した温 度分布を用いた。解析精度を確認するために、試運 転時にタンク各部の温度分布と、Expansion Joint 部の変形を計測した。

4. 解析結果と考察

荷物荷重とスロッシング荷重による応力分布は、 値が小さいので、ここでは示さない。図-5に実船 計測結果を基にした温度分布計算結果を示す。即ち 温度境界条件として、①タンク板内側で 150 \mathbb{C} 、② タンク板外側で 93 \mathbb{C} 、③Expansion Joint 内側基部 で 50 \mathbb{C} 、④Expansion Joint 外側基部で 38 \mathbb{C} 、⑤ Tank Top Plate、船側外板、船底外板、内底板位置 で 33 \mathbb{C} を与え、全体の温度分布を MARC で計算し た。今回のモデル化の妥当性を検証するために、実



図-5 タンク No.1 温度分布図



図-6 船幅方向応力σ,の分布(タンク No.1)



図-7 上下方向応力σ₂の分布 (タンク No.1)

船計測時に Expansion Joint 部の熱変形量も計測し 解析結果と比較した。その結果ばらつきはあるが、 計算値と計測値の差は3割ほどであった。これによ り今回の解析精度はほぼ満足すべきことを確認した。 図-5に示す温度分布のときの、隔壁位置の熱応

力解析結果を図-6と図-7に示す。隔壁前後の部

分の応力は小さいので、隔壁位置のみを表示してい る。曲げ変形が生じるために、鋼板の板厚中心と板 表面では応力が異なる。板表面では板厚中心の応力 に、板厚方向の曲げ応力が重畳したものとなる。

図-6は船幅方向応力 σ_y 、図-7は上下方向応力 σ_z の板表面の応力を示す。 図-6の船幅方向応力 分布では、タンク下部の隔壁が圧縮応力になってい る。タンク上部の Joint と内側の隔壁の交線に沿っ て 300N/mm²を超す高い引張り応力が生じている。 また斜下方の Joint と内側の隔壁の交線に沿って 300N/mm²を超す高い圧縮応力が生じている。

図-7の上下方向応力分布では、タンクの熱膨張 により、下側及びサイドの Expansion Joint と内側 の隔壁の交線に沿って 200N/mm² を超す高い引張 り応力が生じている。400N/mm² を超す最大引張り 応力が、斜め下方の Expansion Joint の上部に生じ ている。Expansion Joint の頂板には全般的に 200N/mm² 前後の引張り応力が生じている。 300N/mm²を超す最大圧縮応力が下方の Expansion Joint の端部に生じているが、この部分は構造が不 連続であるために応力集中が生じたものである。船 幅方向応力 σ_y 、上下方向応力 σ_z のいずれも Expansion Joint とその内側の応力は一部分降伏応 力に達するほど、かなり高くなっているが、Joint 外側の隔壁の応力は、殆どが数10N/mm²以下、



図-8 船幅方向応力 σ_v の分布(タンク No.2)

tank	荷物荷重	スロッシング	タンク熱荷重
No. 1	0.5	1. 9	9. 9
No. 2	0. 8	2. 3	8. 7

表-3 最大変位の比較

単位:mm

表-4 荷物荷重による最大応力値

tank	σ _{y(+)}	σ,,)	σ,(+)	σ,	Mises	
No. 1	6. 7	-19.9	13. 4	-35. 5	36. 7	
No. 2	26. 2	-27.6	19. 0	-39. 2	40.6	
送载状能 単位·N/mm ² v·松幅方向 z·上下方向						

表-5 スロッシング荷重による最大応力値

tank	σ _{y(+)}	σ _{y(-)}	σ _{z (+)}	σ _{z (-)}	Mises
No. 1	47. 7	-47. 2	47. 4	-45.6	71. 2
No. 2	35. 5	-34. 1	41. 0	-54. 5	60. 9

船幅水平方向に1g作用

表-6 タンク熱による板厚中心の最大応力値

tank	σ _{y(+)}	σ _{y (-)}	σ, (+)	σ _{z (-)}	Mises
No. 1	320. 5	-261. 7	305. 8	-398. 9	513. 5
No. 2	274. 4	-210. 7	348. 9	-293. 0	391. O

表-7 タンク熱による板表面1の最大応力値

tank	σ _{y(+)}	σ _{y(-)}	σ, (+)	σ _{z (-)}	Mises
No. 1	461. 6	-293. 0	598.8	-388. 1	869. 3
No. 2	328. 3	-314.6	443. 0	-298. 9	618. 4

表-8 タンク熱による板表面2の最大応力値

tank	σ _{y(+)}	σ,,)	σ _{z (+)}	σ,	Mises
No. 1	288. 1	-379. 3	420. 4	-394. 9	884. 0
No. 2	275. 4	-272. 4	359. 7	-289.1	543. 9

高々100N/mm2前後と急激に低下している。

タンク内に隔壁のない No.2 タンクの計算結果の 1例として、船幅方向応力 σyの分布を図-8に示す。 やはり Expansion Joint の頂板及び Joint と内側の 隔壁の交線に沿って高い応力が生じ、Joint の外側 の隔壁の応力は 30N/mm² 以下と小さくなるなど、 図-6の No.1 タンクとよく似ているが、最大応力は 300N/mm²以下であり、タンク No.1 と比べると少 し小さい。上下方向応力σ2についても同様の傾向で

あった。Expansion Joint で熱膨張を吸収するとい う本船の構造は効果があることが分かる。しかし Joint より内側の応力が非常に高くなるため注意が 必要である。表-3に荷物荷重、スロッシング荷重、 タンク熱荷重によるタンク No.1 及び No.2 の最大変 位の比較を示す。荷物荷重では 1mm 以下、スロッ シング荷重では 2mm 前後と小さいが、熱変形では 10mm 程度と大きくなっている。表-4 から表-8 に荷物荷重、スロッシング荷重、タンク熱荷重によ る隔壁構造の最大応力値を示す。応力は船幅方向応 カσ_v、上下方向応力σ_x、Von-Mises 応力の3種類 を示す。+符号は引張り、-符号は圧縮を意味し、 単位はN/mm²である。荷物荷重による最大応力は約 40N/mm²、スロッシング荷重の場合は約 60N/mm² であり十分小さく安全といえる。タンク熱膨張によ る応力は、板厚中心、表裏の板表面の3つを示して いる。タンク No.1、No.2 の船幅方向応力、上下方 向応力で、部分的には降伏応力を超えるような高い 応力が得られた。またタンク内に swath bulkhead を有するタンク No.1 のほうが、bulkhead の無いタ ンク No.2 よりも、少し応力値が高くなっている。 これは swath bulkhead 自身が、150℃の液温により 膨張するため、応力が高くなると考えられる。 5. まとめ

今回の解析では下記の事を確認できた。

①タンクの荷物荷重、及びスロッシング荷重に対し ては、応力値、変形とも十分小さく安全である。 ②タンクの熱膨張による変形を Expansion Joint で 吸収する本船の構造は、Expansion Joint の外側の 構造には余り応力を伝えないので、その意味では効 果がある。しかしその為に内側の構造の荷重分担率 が高くなり、内側の構造の応力はかなり高くなる。 ③タンクと Expansion Joint に囲まれた部分には高 い応力が発生する。特に船底側の小さい Expansion Joint と、それに接するタンク側の隔壁位置に、局 部的に非常に高い応力が発生する。また他の上方と 左右の Expansion Joint と内側の隔壁が接する交線 上、及び Expansion Joint の交差部においても高い 応力が発生するため注意が必要である。

④今回の解析結果は、定性的には現象を十分説明し ているといえるが、定量的には今後さらに検討の余 地がある。